

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-303125

(43)Date of publication of application : 16.11.1993

(51)Int.Cl.

G02F 1/35
 G02F 1/29
 H01S 3/101
 H01S 3/108

(21)Application number : 04-106687

(71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing : 24.04.1992

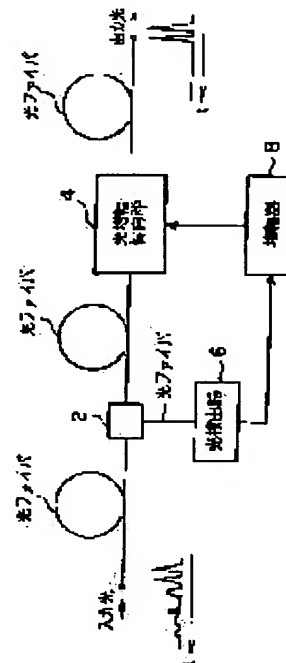
(72)Inventor : AOSHIMA SHINICHIRO
 HIRANO ISUKE

(54) LIGHT INTENSITY NONLINEAR FILTER, OPTICAL CONVERTER REPEATER, PREAMPLIFIER FOR LIGHT SIGNAL, AND LIGHT INTENSITY VARIATION MEASURING INSTRUMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain the light intensity nonlinear filter which can operate as a waveform shaper.

CONSTITUTION: The input light which is made incident from a fiber end is branched by a beam splitter 2. The light traveling straight from the beam splitter 2 is made incident on an optical amplification and deflection part through an optical fiber, and amplified and deflected here to extract only a component with a specific angle of deflection, which is outputted from the optical fiber as output light. The rest light branched by the beam splitter 2 is photodetected by a photodetector 6. The light photodetected by the photodetector 6 is converted into an electric signal, which is amplified by an amplifier 8 and inputted to the optical amplification and deflection part 4. Thus, the electric signal generated by the photodetector 6 is utilized to perform desired waveform shaping by adjusting the optical amplification factor of the optical amplification and deflection part 4, the varying speed of the angle of deflection, the range of the selected angle of deflection, etc.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 02.04.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 22.08.2001

[Kind of final disposal of application other than the
 examiner's decision of rejection or application converted
 registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of
 rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of
 rejection]

[Date of extinction of right]

This Page Blank (uspto)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-303125

(43)公開日 平成5年(1993)11月16日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F	1/35	5 0 1	7246-2K	
	1/29		7246-2K	
H 0 1 S	3/101		8934-4M	
	3/108		8934-4M	

審査請求 未請求 請求項の数16(全 14 頁)

(21)出願番号 特願平4-106687

(22)出願日 平成4年(1992)4月24日

(71)出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72)発明者 青島 紳一郎

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

(72)発明者 平野 伊助

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ
トニクス株式会社内

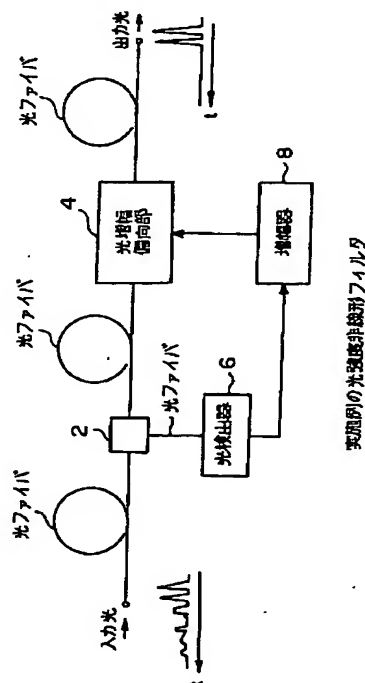
(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54)【発明の名称】 光強度非線形フィルタ、光変換中継器、光信号用プリアンプ及び光強度変化測定器

(57)【要約】

【目的】 波形整形器として動作可能な光強度非線形フィルタ。

【構成】 ファイバ端から入射した入力光はビームスプリッタ2で分岐される。ビームスプリッタ2を直進した光は、光ファイバを介して光増幅偏向部4に入射し、ここで増幅・偏向されて所定の偏向角の成分のみが抽出された後、光ファイバから出力光として出力される。一方、ビームスプリッタ2で分岐された一部の光は光検出器6で受光される。光検出器6で受光された光は、電気信号に変換された後、増幅器8で増幅されて光増幅偏向部4に入力される。このように光検出器6が発生する電気信号を利用すれば、光増幅偏向部4の光増幅度、偏向角の変化速度、選択される偏向角の範囲等の調節によって所望の波形整形を行うことが可能になる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力光を分岐する分岐手段と、前記分岐手段からの一方の光を受光する光検出器と、前記光検出器の出力に応じて前記分光手段からの他方の光を増幅かつ偏向する光増幅偏向装置と、前記光増幅偏向装置からの出力光のうち所定範囲の偏光角を有する光だけを通過させる光制限手段と、を備える光強度非線形フィルタ。

【請求項2】 前記光増幅偏向装置は、前記光検出器の出力する電流量又は電圧強度の少なくとも一方に応じて、前記分光手段からの他方の光を同時に増幅かつ偏向することを特徴とする請求項1記載の光強度非線形フィルタ。

【請求項3】 前記光増幅偏向装置は、前記光検出器の出力する電流量又は電圧強度の少なくとも一方に応じて、前記分光手段からの他方の光を増幅する光増幅部と、前記光検出器の出力する電流量又は電圧強度の少なくとも一方に応じて、前記分光手段からの他方の光を偏向する光偏向部とを備え、前記光増幅部及び前記光偏向部は、前記光検出器の出力する電気信号によってタイミングを合わせて動作されることを特徴とすることを特徴とする請求項1記載の光強度非線形フィルタ。

【請求項4】 前記光増幅部は、半導体光増幅器であることを特徴とする請求項3記載の光強度非線形フィルタ。

【請求項5】 前記光増幅部は、希土類ドープファイバであることを特徴とする請求項3記載の光強度非線形フィルタ。

【請求項6】 前記光偏向部は、半導体光偏向器であることを特徴とする請求項3記載の光強度非線形フィルタ。

【請求項7】 前記光偏向部は、ガルバノミラーであることを特徴とする請求項3記載の光強度非線形フィルタ。

【請求項8】 前記分岐手段は、分岐比が可変であることを特徴とする請求項1記載の光強度非線形フィルタ。

【請求項9】 前記光検出器の出力する電気信号のうち電流又は電圧のうち少なくとも一方を増幅して前記光増幅偏向装置に入力する増幅器をさらに有することを特徴とする請求項1記載の光強度非線形フィルタ。

【請求項10】 前記増幅器は増幅率が可変であるあることを特徴とする請求項9記載の光強度非線形フィルタ。

【請求項11】 前記光増幅偏向装置は、光の増幅に関して飽和特性を有し、この飽和特性を利用して前記分光手段からの他方の光を非線形に偏向することを特徴とする請求項1記載の光強度非線形フィルタ。

【請求項12】 前記光増幅偏向装置は、多段直列に接続したことを特徴とする請求項1記載の光強度非線形フィルタ。

【請求項13】 請求項1記載の光強度非線形フィルタを備えるとともに、入力信号光のノイズを除去して強度のそろった出力信号光に変換する光変換中継器。

【請求項14】 請求項1記載の光強度非線形フィルタを備えるとともに、入力信号光を受信する光信号用プリアンプ。

【請求項15】 請求項1記載の光強度非線形フィルタを備えるとともに、入力信号光のDC成分の上に重畳した微小成分を抽出する光強度変化測定器。

【請求項16】 出力データをフィードバックして光強度安定化に用いることを特徴とする請求項15記載の光強度変化測定器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、波形整形等を可能にする光強度非線形フィルタに関する。

【0002】

【従来の技術】 図15は、従来技術である電気光学ストリークカメラ（特開平1-287425）の構成を示した図である。この測定器に入射した信号光はハーフミラーで分割される。直進した信号光は進行波増幅器（以下、TWA）で増幅されて光偏向器に入射する。一方、ハーフミラーで反射された信号光は光電管で電気信号に変換されて光偏向器のトリガ信号に用いられる。光偏向器を出射した光は、光偏向器の掃引に応じた出射角で進行する。したがって、スリットを通過して検出器で検出される光は所定のフィルタリングを施されたものとなっている。

【0003】 その他、光増幅器を用いた波形変換装置（文献「U.S. Pat. No. 5025142」参照）、半導体光増幅器（文献「Journal of Lightwave Technology, Vol. 6 No. 11, P1656-P1664, 1988」および「光学第18巻第6号P297-P362（1989年6月）」参照）、半導体光偏向器（文献「Appl. Phys. Lett. 56(14), P1299-P1301 1990」参照）等の公知技術が存在している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、従来技術は測定器であって、光を制御するものではなくまた上記のように一部を抽出して考えても波形整形器として動作していない。より詳しくは、分岐した他方の光はトリガに用いるにすぎず、分岐した光の波形に対応した偏向を行うものではない。そこで本発明は、波形整形器として動作可能な光強度非線形フィルタを提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】 上記課題を解決するため、本発明にかかる光強度非線形フィルタは、（a）入力光を分岐する分岐手段と、（b）分岐手段からの一方の光を受光する光検出器と、（c）光検出器の出力に応じて分光手段からの他方の光を増幅かつ偏向する光増幅

偏向装置と、(d) 光増幅偏向装置からの出力光のうち所定範囲の偏光角を有する光だけを通して光制限手段とを備えることとしている。

【0006】

【作用】上記光強度非線形フィルタによれば、光増幅偏向装置が光検出器の出力に応じて分岐手段からの他方の光を増幅かつ偏向するとともに、光制限手段が光増幅偏向装置からの出力光のうち上記所定範囲の偏光角を有する光だけを通して光増幅偏向装置からの出力光のうち上記所定範囲の偏光角等の変化速度、上記所定範囲の偏光角等の調節によって所望の波形整形を行うことが可能になる。

【0007】

【実施例】以下、本発明の実施例について図面を参照しつつ具体的に説明する。

【0008】図1は第1実施例の光強度非線形フィルタの構成を示した図である。ファイバ端から入射した入力光はビームスプリッタ2で分岐される。ビームスプリッタ2を直進した光は、光ファイバを介して光増幅偏向部4に入射し、ここで増幅・偏向されて所定の偏向角の成分のみが抽出された後、光ファイバから出力光として出力される。一方、ビームスプリッタ2で分岐された一部の光は光検出器6で受光される。光検出器6で受光された光は、電気信号に変換された後、増幅器8で増幅されて光増幅偏向部4に入力される。このように光検出器6が発生する電気信号を利用すれば、光増幅偏向部4の光増幅度、偏向角の変化速度、選択される偏向角の範囲等の調節によって所望の波形整形を行うことが可能になる。

【0009】図2は、光増幅偏向部4の構成を示す。図示のように、光増幅偏向部4は、光増幅素子4aと光偏向素子4bとで構成される。この場合、光増幅素子4aとして半導体光増幅器を使用し、光偏向素子4bとして半導体光偏向器を使用している。光増幅素子4aと光偏向素子4bは、ビームスプリッタ2からの光信号と光検出器6からの電気信号がそれぞれの素子で同期するように構成される。

【0010】この場合、結合部の光ファイバは有ってもなくてもよく、また、共に半導体素子であるのでこれらを直接結合して用いることもできる。さらに、光検出器6からの単一の電気信号によって光増幅と光偏向とを同時に行う素子として構成する事が可能である。このようにすれば、電気信号を分岐して別々に印加する必要がなくなる。

【0011】さらに、光増幅素子4aとしては、半導体光増幅器の他、希土類ドープファイバ増幅器等の使用も可能である。また、光偏向素子4bとしては、半導体光偏向器の他、ガルバノミラー等の使用も可能である。さらに、光増幅素子4aと光偏向素子4bの順序を入れ替えてもよい。また、これらの素子4a、4bは、光検出器6の出力する電気信号である電流量又は電圧強度のう

ち少なくとも一方に応じて動作するものであればよい。この場合、これらの素子4a、4bは、共に同一の信号（例えば電流）によって動作させるものであることが、電気信号の増幅の簡便化、信号の分配等の観点から望ましいといえる。

【0012】図3は光偏向素子4bの構成を示す。図示のように、光偏向素子4bは、半導体光偏向器等からなる光偏向器14bと光制限部材24bとで構成される。光制限部材24bとしては、ファイバ端面の等価アパーチャを用いたものや通常のスリットを用いたものが使用できる。光偏向器14bに入射した光入力力は、光検出器6の出力する電気信号に応じて所定の偏向角で出射する。この場合、光制限部材24bが存在するので、出力光として取り出せるのは、偏向角 θ を有する成分の近傍のみである。

【0013】以下の説明では、図4～図13を参照しつつ、図1の光強度非線形フィルタの動作原理について具体的に考察する。

【0014】図4は、光増幅素子4aを構成する半導体光増幅器の特性評価のための実験系を示す。かかる特性評価は、実施例の光強度非線形フィルタの波形整形特性を決定するために行う。図4の装置によって得られた半導体光増幅器の特性は、図5に示すようなものであった。

【0015】図5において、光入力強度 I_{in} が $I_{in} < I_0$ の条件を満たすとき、損失の増大によって $I_{out} = 0$ となる。

【0016】次に、強度 I_{in} が $I_0 \leq I_{in} < I_2$ の条件を満たすとき、 $I_{out} \sim k(I_{in} - I_0)^2$ (k : 比例定数)となる。特に、 $I_0 \leq I_{in} < I_1$ の場合、 $I_{in} < I_{out}$ であり光増幅が行われない。一方、 $I_1 \leq I_{in} < I_2$ の場合、 $I_{out} \leq I_{in}$ であり光増幅が行われる。

【0017】強度 I_{in} が $I_2 \leq I_{in}$ の条件を満たすとき、 $I_{out} \sim k(I_2 - I_0)^2 = \text{一定}$ となる。

【0018】図6は、光偏向素子4bを構成する半導体光偏向器の特性評価のための実験系を示す。かかる特性評価は、実施例の光強度非線形フィルタの波形整形特性を決定するために行う。図6の装置によって得られた半導体光増幅器の特性は、図7に示すようなものであった。

【0019】図7において、光入力強度 I_{in} が $I_{in} < I_0'$ の条件を満たすとき、損失の増大によって $\theta = 0$ となる。次に、強度 I_{in} が $I_0' \leq I_{in} < I_2'$ の条件を満たすとき、 $\theta_{out} \sim k'(I_{in} - I_0')$ (k' : 比例定数)となる。さらに、強度 I_{in} が $I_2' \leq I_{in}$ の条件を満たすとき、 $\theta_{out} \sim k'(I_2' - I_0') = \text{一定}$ となる。

【0020】図8は、図6の半導体光偏向器とアパーチャを組み合わせた光偏向素子の特性評価のための実験系を示す。かかる特性評価は、実施例の光強度非線形フィ

ルタの波形整形特性を決定するために行う。

【0021】図8(a)のように、半導体光偏向器の出力光の空間強度分布が分布 α のようなものである場合、半導体光偏向器の後方に角 θ_2 を中心とするアパーチャを配置すると、角 θ_2 の出射光を最も効率よく透過させることができる。さらに図(b)のように、分布 α の分布端が角 θ_1 になったときから出射光がアパーチャを通過し始めるように入出力特性を決定すると、光偏向素子の出力特性 a は、図9に示すようなものとなる。

【0022】半導体光偏向器の出力光が分布 α のようなものである場合、光偏向素子の出力特性 a は、実際には $I_1' \leq I_{in} \leq I_2'$ でも各点で曲率が異なる。しかし、ここでは簡単のため、この I_{in} の範囲で光偏向素子の出力特性を $a = k'' (I_{in} - I_1')$ (k'' : 比例定数)として以下の説明を行う。したがって、 $I_1' \leq I$

$$I_{out} = k'' \{ k (I_{in} - I_0)^2 - k (I_1 - I_0)^2 \} \cdot I_{in} \\ = k'' \cdot k \{ (I_{in} - I_0)^2 - (I_1 - I_0)^2 \} \cdot I_{in}$$

$C = k'' \cdot k$ とし、 $I_0 \ll I_1$ より $I_0 = 0$ とおくと、

$$I_{out} \sim C \cdot (I_{in}^2 - I_1^2) \cdot I_{in}$$

となる。この式から明らかなように、 I_{out} は I_{in} の3次の関数となり、 $I_{in} = I_1$ で閾値を持ち、かつ、 $I_1 \leq I_{in} \leq I_2$ で急激に立ち上がる。つまり、図10のような装置によれば、 $I_1 \leq I_{in} \leq I_2$ で急激に立ち上がり、しかも光増幅可能な非線形フィルタを構成することができる。

【0026】図12は図10の装置に対応する具体的装置の構成を示す。分岐用光カプラ52を直進した光は、半導体光増幅器54aに入射してここで増幅される。この増幅された光は半導体光偏向器54bで偏向される。この場合、半導体光偏向器54bの出力端に適当な角度でアライメントされた光ファイバ端が接続されているので、出射光のうち所定の偏向角の成分のみが抽出されて光ファイバから出力される。一方、分岐用光カプラ52で分岐された一部の光は光検出器56で受光される。光検出器56で受光された光は、電気信号に変換された後、増幅器58で増幅されて半導体光増幅器54a及び半導体光偏向器54bに入力される。

【0027】以下では、図10の装置の動作原理に基づいて、図12の装置に直流光に正弦波が重畳した光波形を入力した際の各部分における光波形について検討する。ここでは、図10の装置と異なり、単一の光検出器56からの電気信号が分岐されて半導体光増幅器54a及び半導体光偏向器54bに入力されるが、図10の装置の入出力特性がそのまま適用できるものとする。また、 $I_0 = 0$ であるものとする。

【0028】図13(a)及び図13(b)は、図12の装置における各部の波形を示した図である。

【0029】信号(a)は、入力光 I_{in} の時間変化を示す波形である。

$I_{in} \leq I_2'$ の場合には、光偏向素子の光入力 I_{in} と光出力 I_{out} との関係は、

$$I_{out} = a I_{in} = k'' (I_{in} - I_1') \cdot I_{in}$$

となる。

【0023】以上の説明では、光増幅素子と光偏向素子のを別々に説明してきたが、これらの素子の特性において、光カプラの分岐比と増幅器の増幅率とを、

$$I_1' = k (I_1 - I_0)^2$$

$$I_2' = k (I_2 - I_0)^2$$

となるように調整して直列に接続する。

【0024】図10は、上記の条件で図4の光増幅素子と図6の光偏向素子を組み合わせたもので、光ファイバの端面をアパーチャとしている。この場合、図10の装置の入出力特性は、図11に示すようなものとなる。

【0025】ここで、 $I_1 \leq I_{in} \leq I_2$ においては、

【0030】信号(b)は、光分岐後の半導体光増幅器54aへの入力光の時間変化を示す波形である。

【0031】信号(c)は、光分岐後の半導体光増幅器54aからの出力光の時間変化を示す波形である。 $I_1 \leq I_{in}$ で光増幅が可能であるから $I_1 = I_{in}$ の時、

$$I_{out} = I_1 = k \cdot I_1^2$$

ここで、 $I_1 = 1$ とすると、 $k = 1$ となる。以下の議論では簡単のため、 $I_1 = 1$ 、 $k = 1$ として計算する。さらに、 $I_2 = 1.5$ とすると、 $I_{out} = 1 \cdot 1.5^2 = 2.25$ となる。

【0032】信号(d)は、半導体光偏向器54bからの出力光(I_{out})の時間変化を示す波形である。 $k'' = 1$ とすると、 $C = k \cdot k'' = 1$ となり、

$$I_{out} = (I_{in}^2 - I_1^2) \cdot I_{in}$$

と書ける。 $I_{in} = I_1 (= 1)$ のとき、 $I_{out} = 0$ となり、 $I_{in} = I_2 (= 1.5)$ のとき、 $I_{out} = 1.875$ となる。

【0033】以上から明らかなように、最終的に直流成分を除去し、変調成分を強調し、ピーク強度を増幅した出力光が得られる。この場合、分岐用光カプラ52の分岐比を可変とすることができる。また、半導体光増幅器54aの増幅率を可変とすることができる。さらに、半導体光増幅器54a及び半導体光偏向器54bとして光の増幅に関して飽和特性を有するものを使用し、この飽和特性を利用して前記分光手段からの他方の光を非線形に偏向することもできる。

【0034】以下、上記の光強度非線形フィルタの応用例について説明する。

【0035】(1) 光通信中継器

所望の光信号が I_2 よりやや強い強度となるように設定すると、散乱等による光ノイズを吸収し(透過できず)、所望の光信号のみが素子の飽和による強度のそろった増幅された信号となる(図1に入出力光の波形を参

照のこと)。このとき、光パルス信号の立ち上がりは急しゅんになる特徴も合せ持つ。

【0036】(2) 光通信用ブリアンプ

光通信器側でオン・オフを判別する際、光検出器の前におくことによって高いS/N比で信号の受信が可能になる。このことについて以下に説明する。

【0037】例えば、受信側光検出器と判別回路とが、図11において、 $I_{in} \geq 1/2 \cdot C \cdot (I_2^2 - I_1^2) \cdot I_2$ でオン、 $I_{in} < 1/2 \cdot C \cdot (I_2^2 - I_1^2) \cdot I_2$ でオフと判別するとき、

$$I_{out} = 1/2 \cdot C \cdot (I_2^2 - I_1^2) \cdot I_2$$

を与える I_{in} を I_x とすると、オンを判定する入力光強度の範囲 $\Delta I = |I_x - I_2|$ は、 $\Delta I = I_2 / 10$ 程度に容易にすることができる。すなわち、散乱等のノイズはまちがってオンと判定されることがなく、かつ、 ΔI に含まれる信号成分が増幅された後に検出される。

【0038】(3) 光強度変化測定器

図14は光強度変化測定器の実施例を示した図である。光源101からの光の強度は図示のように僅かに変動する。光源101からの光は、図1と同様の光強度非線形フィルタ103を経て光検出器105で検出される。この光検出器105の出力は、オシロスコープ等のモニター107で検出される。これにより、 $I_x \sim I_2$ における光源101からの光の僅かな強度変化の波形を拡大して観察することもできる。さらに、光検出器105の出力する検出信号をフィードバックする制御系109を設ければ、光源101の光強度の安定化を図ることも可能である。

【0039】本発明は上記実施例に限定されるものではない。例えば、上記の効果を顕著にするため、図1のような光強度非線形フィルタを多数直列に接続して使用することもできる。また可飽和吸収素子と結合してもよい。

【0040】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光強度非線形フィルタによれば、光増幅偏向装置が光検出器の出力に応じて分光手段からの他方の光を増幅かつ偏向するとともに、光制限手段が光増幅偏向装置からの出力光のうち上記所定範囲の偏光角を有する光だけを通過させるので、上記所定範囲の偏光角等の調節によって、例えば所定の閾値を超えた信号成分のみを高い利得で光増幅等するなど、所望の波形整形を行うことが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例の光強度非線形フィルタの図。

【図2】光増幅偏向部の構成を示す図。

【図3】光偏向素子の構成を示す図。

【図4】半導体光増幅器の特性評価のための実験系を示す図。

【図5】半導体光増幅器の特性を示す図。

【図6】半導体光偏向器の特性評価のための実験系を示す図。

【図7】半導体光偏向器の特性を示す図。

【図8】光偏向素子の特性評価のための実験系を示す図。

【図9】光偏向素子の特性を示す図。

【図10】半導体光増幅器と光偏向素子とを組み合わせたものの特性評価のための実験系を示す図。

【図11】図10の装置の特性を示す図。

【図12】図11の装置を具体化した装置を示す図。

【図13】図12の装置の動作を示した図。

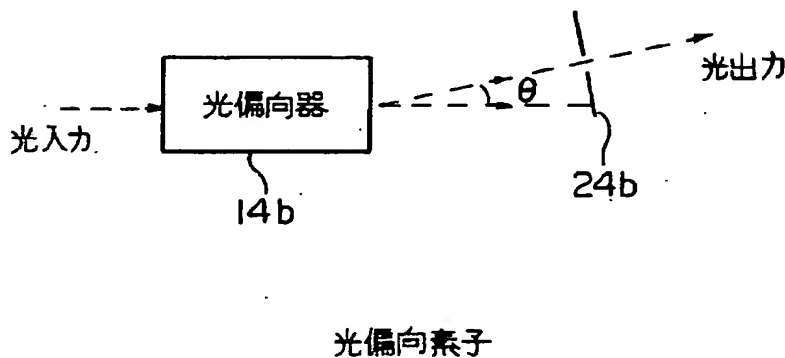
【図14】光強度変化測定器の実施例を示した図。

【図15】従来例の光強度非線形フィルタの図。

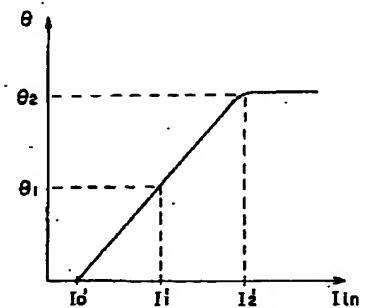
【符号の説明】

2…分岐手段、4…光増幅偏向装置及び光制限手段、6…光検出器。

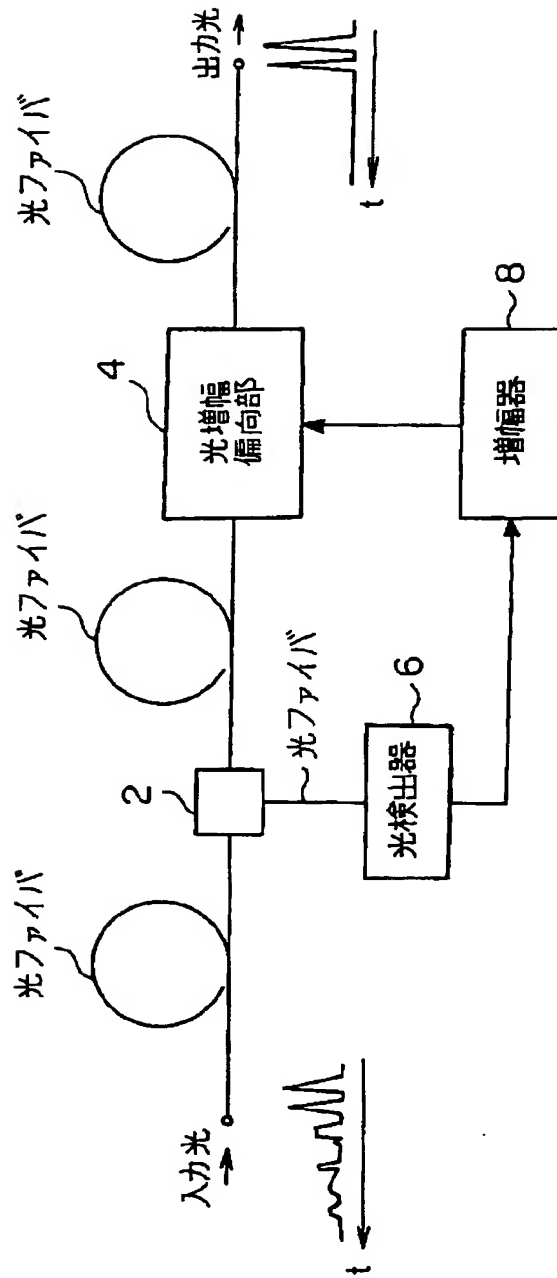
【図3】



【図7】



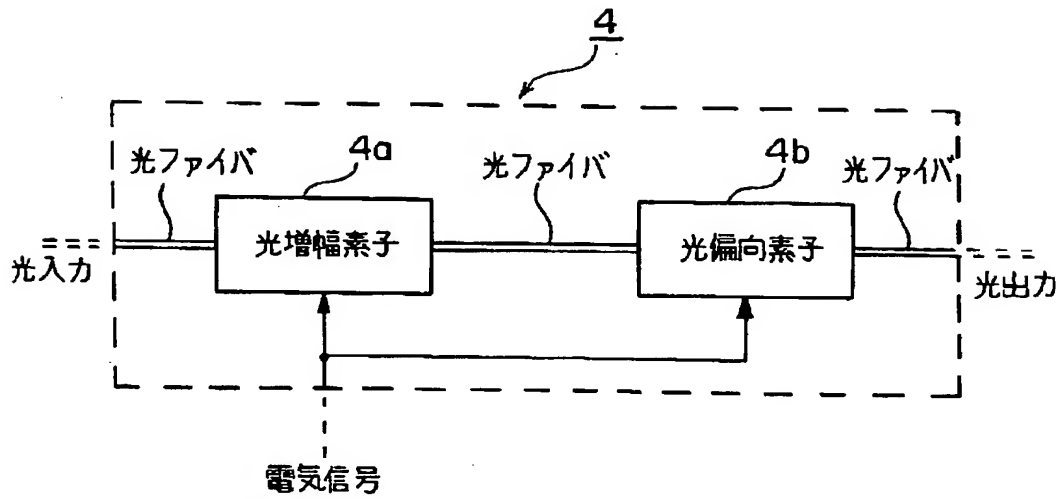
半導体光偏向器の特性



【図1】

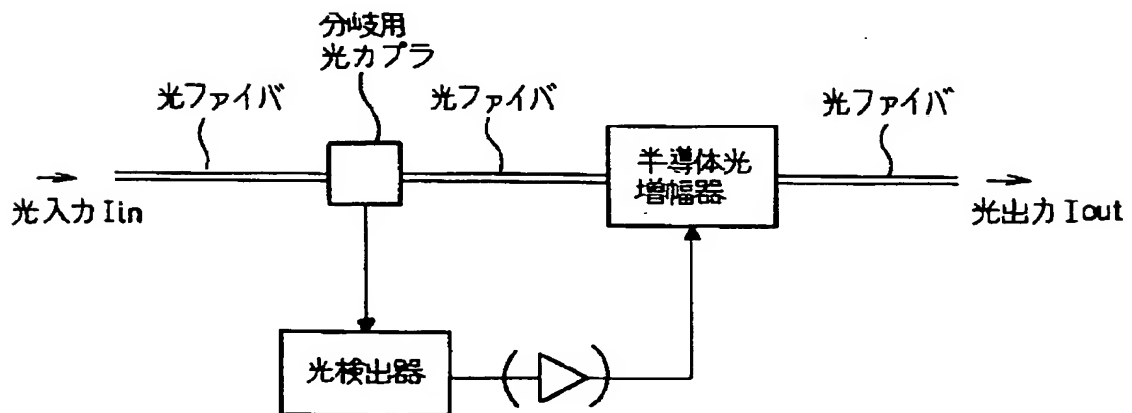
実施例の光強度非線形フィルタ

【図2】



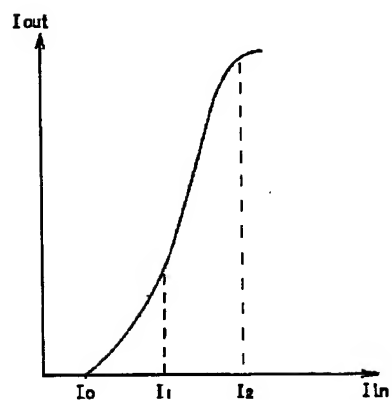
光増幅偏向部

【図4】



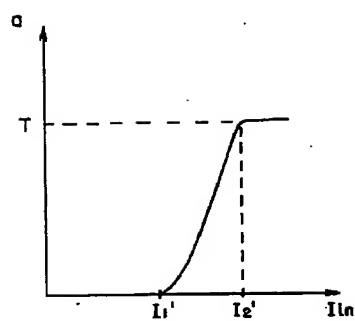
半導体光増幅器の特性評価

【図5】



半導体光増幅器の特性

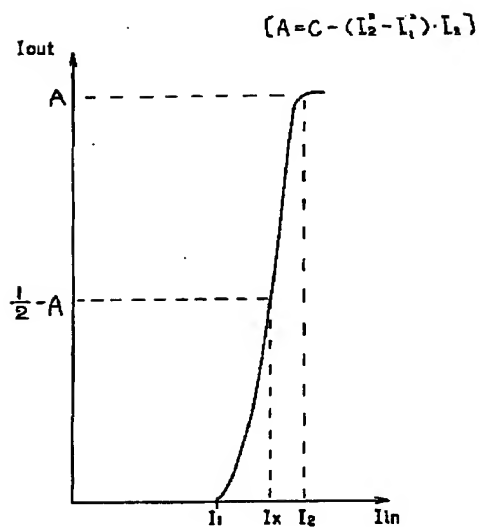
【図9】



光偏向素子の特性

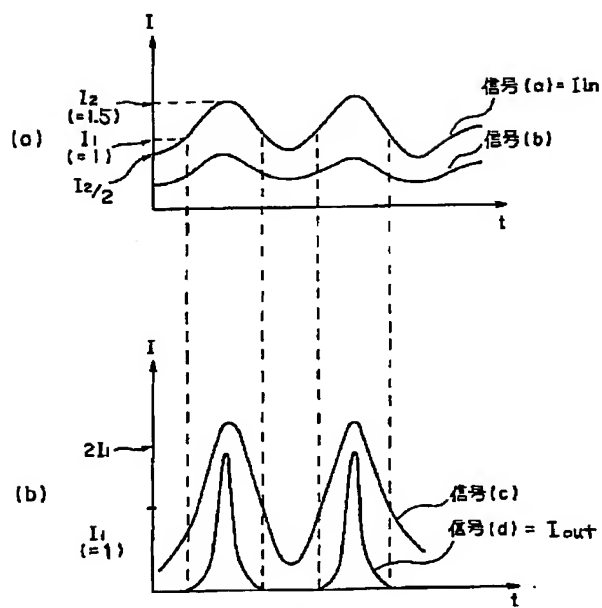
$$\left(\begin{array}{l} T \text{ は光分岐器の透過率} \\ T = \frac{\text{半導体光増幅器への出力光}}{\text{光分岐器への入力光}} \end{array} \right)$$

【図11】



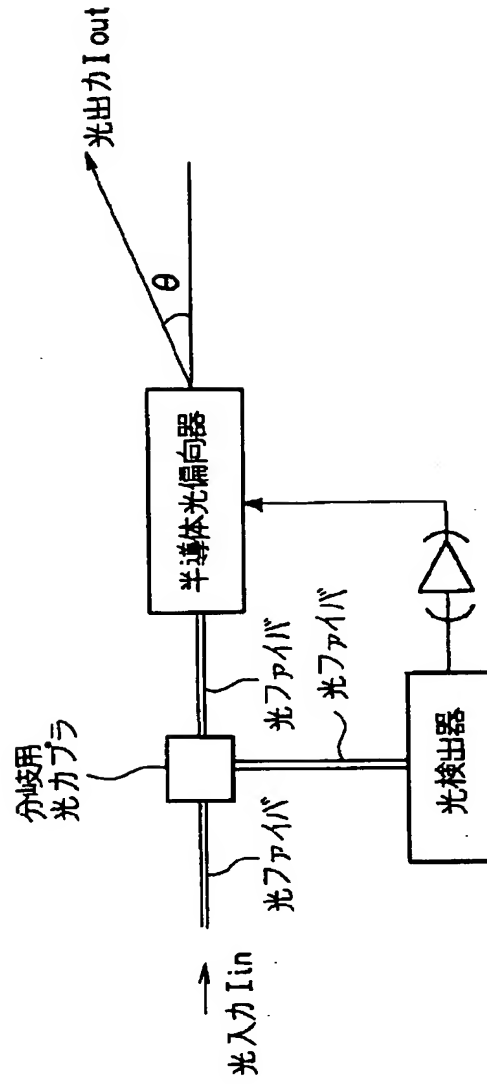
組み合わせの特性

【図13】



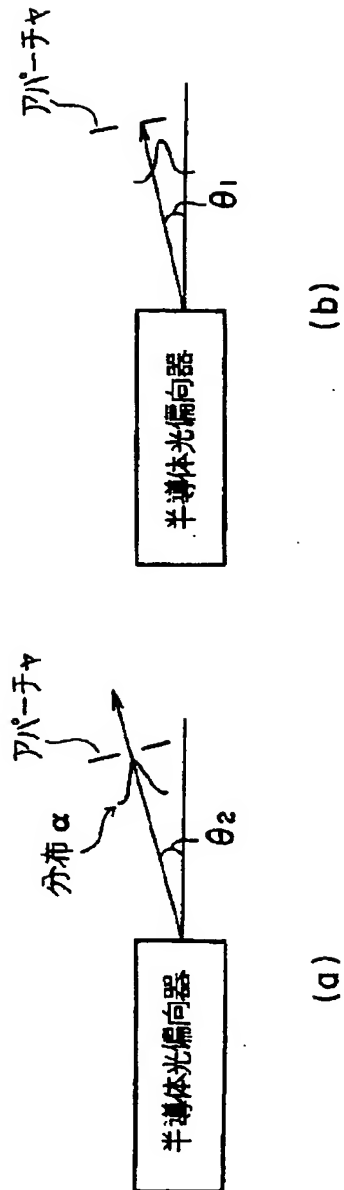
各部の波形

【図6】



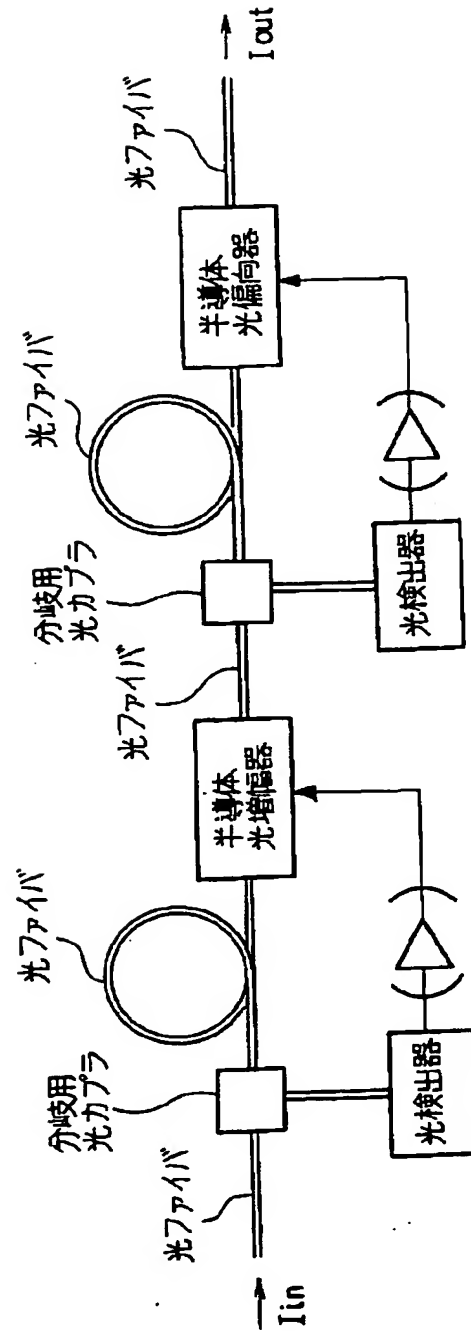
半導体光偏向器の特性評価

【図8】



光偏向素子

【図10】



光増幅素子と光偏向素子の組合わせ

【図 12】

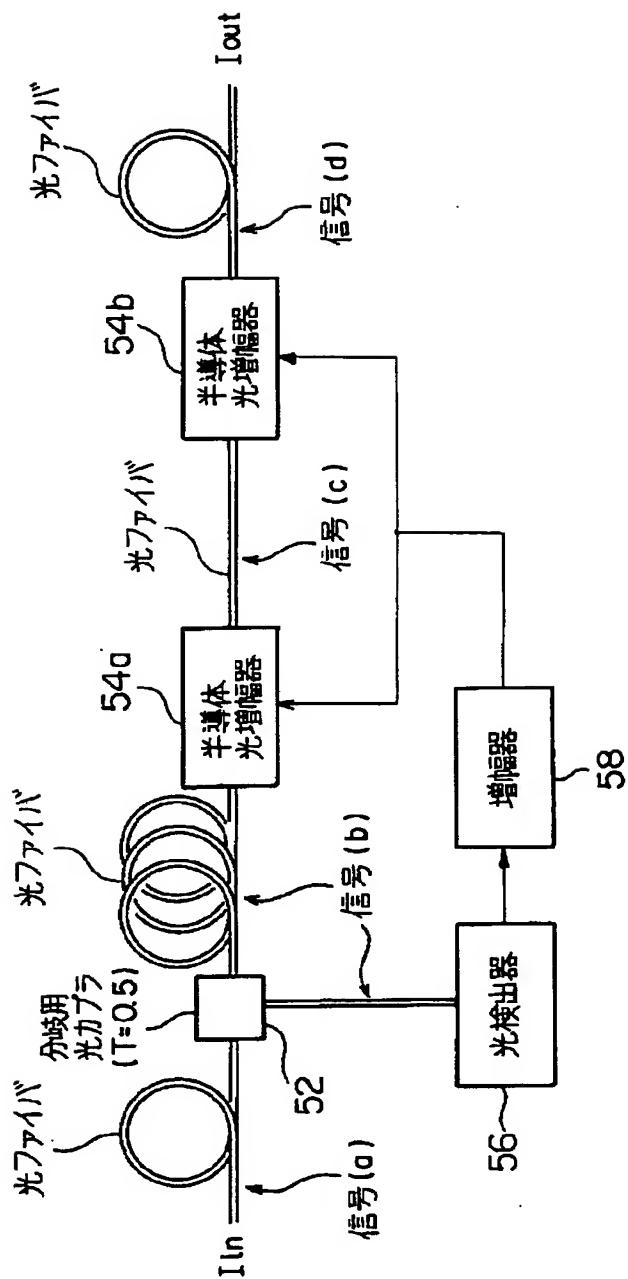
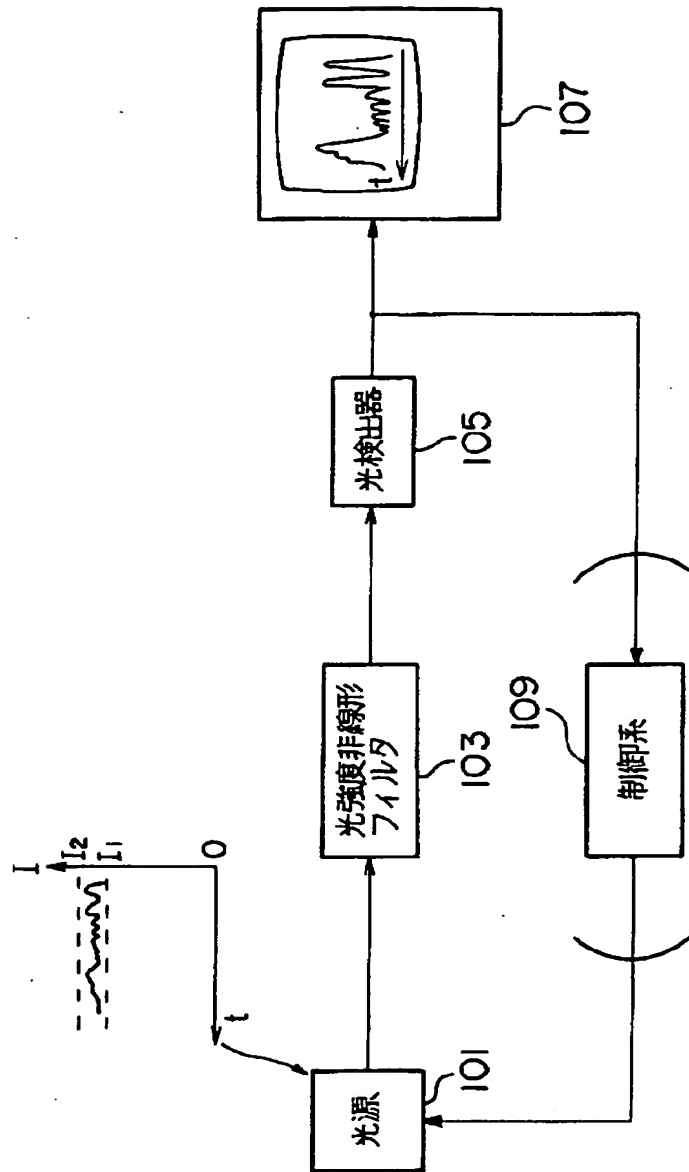


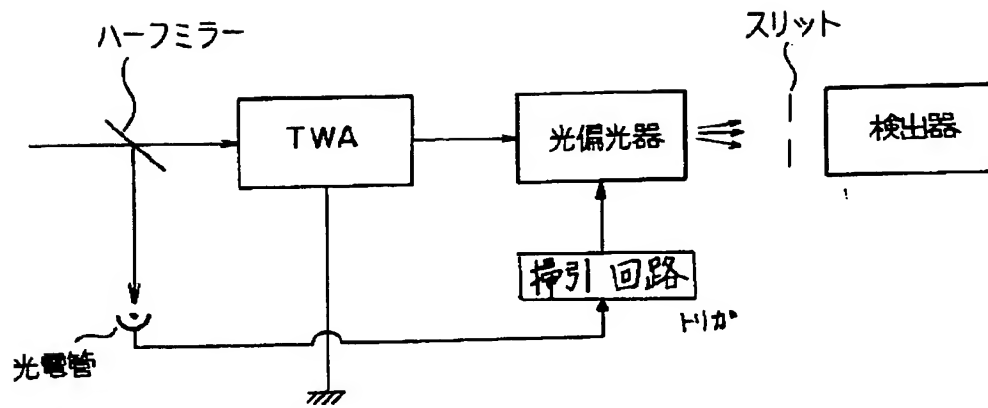
図 10 の装置に対応する具体的装置

【図14】



光強度変化測定器

【図15】



従来技術